

ANALISIS PERBANDINGAN METODE WESTERGRAND TERHADAP METODE DESAIN LANGSUNG DAN METODE PORTAL EKIVALEN PADA *FLAT PLATE*

Rian Ramadhan ¹⁾, Zulfikar Djauhari ²⁾, Alex Kurniawandy ²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru Kode Pos 28293

email: Rian.Ramadhan46@gmail.com

ABSTRACT

All this time the analysis and design of plate is often done by using approach method such as Westergrand that commonly used and also use the Direct Design methods and Equivalent Frame methods, this approach method is more often used because it is very difficult to plan a plate with using numerical methods such as finite element method although the results will be more exact. This study aims to determine the comparison between Westergrand method, Direct Design method and Equivalent Frame method, especially when applied to the plates that do not have beams such as Flat Plate. This comparison is done in order to see how good this method in terms of ease of calculation, the results of moments, reinforcement and deflection result and in order to see how the behavior of Flat Plate when analyzed using these methods. This research results showed Westergrand method have easier calculation methods when compared to the Direct Design method and Equivalent Frame method but Westergrand method will give a smaller value than the Direct Design method and Equivalent Frame method in terms of moments, reinforcement and deflection. Based on the research results that higher the ratio between long span and short span, the plate behavior will be getting closer to the of one way action and corner panel receive the largest proportion of the load from interior and exterior panels.

Keyword Plate, Westergrand Method, Direct Design Method, Equivalent Frame Method

1. PENDAHULUAN

Selama ini metode yang sering digunakan untuk menganalisis dan mendesain suatu pelat umumnya menggunakan metode *Westergrand* atau sering juga disebut metode koefisien momen atau juga dikenal sebagai metode PBI 71, serta dapat juga menggunakan Metode Desain Langsung (*Direct Design Method*), dan Metode Portal Ekuivalen (*Equivalent Frame Method*).

Metode-metode pendekatan ini dibuat untuk menyederhanakan analisis pelat yang bila dilakukan secara numerik yang jauh lebih sulit. Metode pendekatan ini dapat memberikan hasil yang mendekati perhitungan dari analisis secara numerik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji optimalisasi metode-metode pendekatan apabila diterapkan pada *flat plate* terutama

dari segi kemudahan analisis, hasil momen, tulangan, dan defleksi serta untuk dapat melihat perilaku *Flat Plate* seandainya perbandingan antara bentang panjang dan bentang pendek ditingkatkan selain itu hasil analisis juga dibandingkan apabila dianalisis dengan menggunakan metode *Westergrand*, Desain Langsung dan Portal Ekuivalen.

Manfaat dari penelitian ini untuk memberikan suatu gambaran teknis dan referensi ilmiah kepada para konstruktor mengenai perencanaan *flat plate* apabila menggunakan metode *Westergrand*.

a) *Flat Plate*

Menurut Mc Cormac (2004), *flat plate* (Pelat datar) adalah pelat beton pejal dengan tebal merata yang mentransfer beban secara

langsung ke kolom pendukung tanpa bantuan balok, kepala kolom atau drop panel. Pelat datar dapat dibuat dengan cepat karena bekisting dan susunan tulangan yang sederhana yang dapat mempermudah pengerjaannya. Pelat ini memerlukan tinggi lantai terkecil untuk memberikan persyaratan tinggi ruangan dan memberikan fleksibilitas terbaik dalam susunan kolom dan partisi.

Pelat datar sangat memungkinkan untuk munculnya masalah dalam transfer geser di sekeliling kolom. Dengan kata lain, ada bahaya di mana kolom akan menembus pelat, atau yang sering disebut dengan *punching shear*. Oleh karena itu seringkali dilakukan pembesaran dimensi kolom atau menebalkan pelat dan bisa juga menggunakan *shearhead* yang terbuat dari baja I dan di tempatkan dalam pelat melintasi kolom.

b) Metode Westergaard

Menurut Amrinsyah Nasution (2009), Metode *Westergaard* merupakan suatu metode yang menganalisa pelat secara sendiri-sendiri atau dengan kata lain pelat dianggap terpisah dari pelat-pelat sekitarnya, dan momen pada arah x dan y dapat ditentukan berdasarkan tabel yang diberikan pada metode ini dengan cara mencocokkan nilai perbandingan bentang panjang terhadap bentang pendek dan jenis perletakkannya apakah terjepit bebas, terjepit elastis atau terjepit sempurna untuk mendapatkan nilai (x) dan momen dihitung dengan menggunakan persamaan (1) berikut ini:

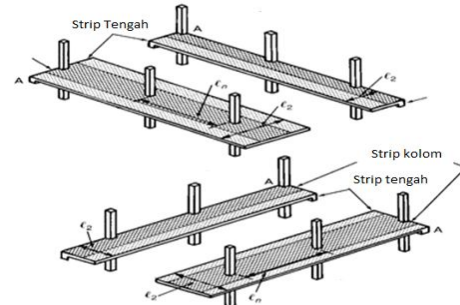
$$M = 0,001(x)q_u(l_x)^2 \quad (1)$$

c) Metode Desain Langsung (*Direct Design Method*)

Metode desain langsung (*Direct Design Method*) juga disebut sebagai "*Direct Analysis Method*", karena metode ini menentukan momen pada bagian pelat tanpa harus menggunakan suatu analisis struktur tertentu. (Mc Cormac, 2004)

Pada desain langsung momen yang terjadi pada pelat ditentukan dengan cara mendistribusikan nilai M_o yang dihitung berdasarkan persamaan 2 menjadi momen

rencana positif, negatif interior dan eksterior dengan menggunakan Tabel 1 sampai dengan Tabel 4 pada masing-masing strip kolom dan strip tengah pada portal ekuivalen seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Pembagian Portal Ekuivalen (Sumber: MacGrear dkk, 2012)

$$M_o = \frac{w_u \cdot l_2 \cdot l_{n1}}{2} \cdot \frac{l_{n1}}{2} - \frac{w_u \cdot l_2 \cdot l_{n1}}{2} \cdot \frac{l_{n1}}{4} = \frac{w_u \cdot l_2 \cdot (l_{n1}^2)}{8} \quad (2)$$

Tabel 1 Faktor Momen Untuk Distribusi M_o Dalam Bentang Eksterior (Sumber: SNI 2847-2013)

Lokasi Momen	Tepi Eksterior Tak-dikekang	Slab dengan Balok diantara Semua Pendukung	Slab tanpa Balok diantara Pendukung Interior		Tepi Eksterior Dikekang secara Penuh
			Tanpa Balok Tepi	Dengan Balok Tepi	
Interior momen berfaktor negatif	0,75	0,7	0,7	0,7	0,65
Positif momen berfaktor	0,63	0,57	0,52	0,5	0,35
Eksterior momen berfaktor negatif	0	0,16	0,26	0,3	0,65

Tabel 2 Persentase Momen Negatif Interior Yang Ditahan Oleh Jalur Kolom (Sumber: SNI 2847-2013)

l_2/l_1	0,5	1,0	2,0
$\alpha_f(l_2/l_1) = 0$	75	75	75
$\alpha_f(l_2/l_1) \geq 1,0$	90	75	45

Tabel 3 Persentase Momen Negatif Interior Yang Ditahan Oleh Jalur Kolom (Sumber: SNI 2847-2013)

l_2/l_1		0,5	1,0	2,0
$\alpha_f(l_2/l_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$\alpha_f(l_2/l_1) \geq 1,0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Tabel 4 Persentase Momen Rencana Positif Jalur Kolom
(Sumber: SNI 2847-2013)

ℓ_2/ℓ_1	0,5	1,0	2,0
$\alpha_{f1}(\ell_2/\ell_1) = 0$	60	60	60
$\alpha_{f1}(\ell_2/\ell_1) \geq 1,0$	90	75	45

Momen yang didistribusikan pada strip tengah adalah momen yang tidak ditahan oleh strip kolom pada portal ekuivalen dan setiap strip tengah harus diproporsikan untuk menahan jumlah momen yang diberikan pada kedua setengah strip tengah pada portal ekuivalen.

d) Metode Portal Ekuivalen (*Equivalent Frame Method*)

Metode Portal Ekuivalen adalah suatu bentuk metode yang jauh lebih detail dari pada Metode Desain Langsung, karena Metode Portal Ekuivalen melibatkan beberapa siklus distribusi momen normal, sedangkan Metode Desain Langsung hanya melibatkan beberapa siklus saja. (Mc Cormac, 2004)

Pada dasarnya metode portal ekuivalen ini memiliki kesamaan terhadap metode desain langsung, dimana metode ini juga akan mendistribusikan momen pelat untuk dapat ditahan oleh masing-masing strip kolom dan strip tengah, hanya saja pada metode ini pembatasan yang ada pada metode desain langsung tidak ada pada metode ini dan pada metode portal ekuivalen perhitungan nilai momen statis berfaktor total (M_o) sangatlah berpengaruh terhadap nilai kekakuan dari propertis struktur, yang meliputi nilai kekakuan pelat yang ditunjukkan oleh persamaan 3 dan kekakuan ekuivalen kolom yang ditunjukkan oleh persamaan 4 sedangkan perhitungan M_o pada penelitian ini menggunakan metode *Hardy Croos*.

$$K = \frac{kEI}{L} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{\sum K_t} \dots\dots\dots (4)$$

$$K_t = \sum \frac{9E_{cs}C}{l_2(1-\frac{c_2}{l_2})^3} \dots\dots\dots (5)$$

$$C = \sum \left[1 - 0,63 \frac{x}{y} \right] \frac{x^3 y}{3} \dots\dots\dots (6)$$

e) Punching Shear (Geser Dua Arah)

Perilaku geser plat dua arah merupakan masalah tegangan tiga dimensi, dimana bidang kegagalan geser kritisnya adalah keliling dari daerah yang dibebani, yang lokasinya terletak pada jarak yang memberikan keliling geser minimum bo . Berdasarkan penelitian analitis maupun eksperimental, bidang geser ini tidak akan lebih dekat dari pada $d/2$ dari beban terpusat atau daerah reaksi.

SNI memberikan kekuatan geser tahanan nominal tanpa tulangan geser khusus dari penampang sebagai berikut :

$$V_c = \frac{1}{12} \left[2 + \frac{4}{\beta} \right] \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bo \cdot d \dots\dots\dots (7)$$

$$V_c = \frac{1}{12} \left[2 + \frac{4}{\beta} \right] \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bo \cdot d \dots\dots\dots (8)$$

$$V_c = \frac{4}{12} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot bo \cdot d \dots\dots\dots (9)$$

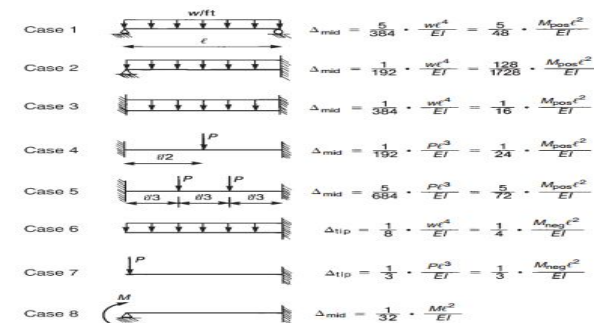
Nilai diatas harus diambil berdasarkan nilai terendah dari nilai-nilai tersebut

f) Defleksi

Defleksi atau lendutan adalah fungsi dari kekakuan yaitu perkalian antara modulus elastisitas beton (E) dengan inersia penampang (I) atau yang lebih dikenal dengan EI.

Perhitungan Defleksi Metode *westergrand*

Metode *Westergrand*, tidak memiliki analisa khusus untuk menentukan lendutan maksimum yang terjadi pada pelat, oleh karena itu penulis menggunakan analisa pendekatan dengan menggunakan perhitungan lendutan mekanika biasa ataupun perhitungan lendutan yang instan adapun analisisnya seperti tergambar pada Gambar 2.



Gambar 2 Perhitungan Defleksi Metode *Westergrand*
(Sumber: MacGreor dkk, 2012)

Perhitungan Defleksi Untuk Metode Langsung

Deformasi panel tipikal tiap kali dianggap satu arah. Dengan demikian, defleksi total pada satu titik slab diperoleh dengan menjumlahkan kontribusi masing-masing arah x, dan y.

Defleksi panel tengah dapat diperoleh dengan menjumlahkan defleksi ditengah-tengah bentang pada jalur kolom dalam satu arah, dengan jalur tengah sebagai arah tegak lurus nya.

Defleksi setiap panel dapat dianggap sebagai jumlah dari tiga komponen berikut :

- Defleksi bentang tengah dasar panel, diasumsikan terjepit pada kedua ujungnya:

$$\delta' = \frac{w\ell^4}{384E_c I_{\text{rangka}}}$$

Hubungan antara defleksi ini dengan defleksi jalur kolom δ_c dan jalur tengah δ_s harus memenuhi:

$$\delta_c = \delta' \frac{M_{\text{strip kol}}}{M_{\text{rangka}}} \frac{E_c I_{cs}}{E_c I_c}$$

$$\delta_s = \delta' \frac{M_{\text{strip slab}}}{M_{\text{rangka}}} \frac{E_c I_{cs}}{E_c I_s}$$

dimana I_{cs} adalah momen inersia rangka total, I_c momen inersia strip kolom, dan I_s momen inersia strip tengah.

- Defleksi pusat, $\delta''_{\theta L} = 1/8\theta L$, akibat rotasi di ujung kiri sementara ujung kanan dianggap terjepit, dimana $\theta_L = M_{\text{neto}}/K_{ec}$ kiri dan K_{ec} adalah kekakuan lentur kolom ekuivalen (momen persatuan rotasi).
- Defleksi pusat, $\delta''_{\theta R} = 1/8\theta L$, akibat rotasi di ujung kanan, sementara ujung kiri dianggap terjepit, dimana $\theta_R = M_{\text{neto}}/K_{ec}$ kanan. Karenanya:

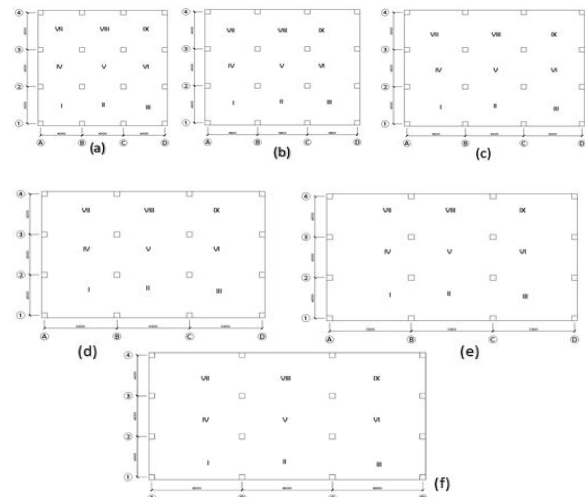
$$\delta_{cx} \text{ atau } \delta_{cy} = \delta_c + \delta''_{\theta L} + \delta''_{\theta R}$$

$$\delta_{sx} \text{ atau } \delta_{sy} = \delta_s + \delta''_{\theta L} + \delta''_{\theta R}$$

$$\text{Maka : } \Delta = \delta_{sx} + \delta_{cy} = \delta_{sy} + \delta_{cx}$$

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini pelat yang akan diteliti memiliki 6 tipikal yang berbeda terutama pada panjang dan lebar pelat dimana tipe 1 memiliki perbandingan antara sisi panjang (l_y) dan sisi pendeknya (l_x) adalah 1:1, tipe 2 $l_y/l_x = 1,2:1$, tipe 3 $l_y/l_x = 1,4:1$, tipe 4 $l_y/l_x = 1,6:1$, tipe 5 $l_y/l_x = 1,8:1$, tipe 6 $l_y/l_x = 2:1$ seperti yang tertera pada Gambar 3 berikut ini :



Gambar 3 Tipe pemodelan Struktur

dimana untuk masing-masing pemodelan struktur pelat memiliki tebal serta propertis yang sama.

a) Data-Data Analisis

Berikut ini adalah data-data yang digunakan dalam penelitian ini :

Mutu beton (f'_c) = 21 MPa

Mutu Baja (f_y) = 240 MPa

Modulus Elastisitas Baja (E_y) = 200000 MPa

Modulus Elastisitas Beton (E_c) = 21538,1 MPa

$\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^2$

Dimensi Kolom (c_1 dan c_2) = 500 mm

Tinggi Kolom atas bawah = 3600 mm

ϕ momen = 0,9

ϕ geser = 0,75

cc arah y = 32 mm

cc arah x = 25 mm

h rencana = 230 mm

Beban mati (D) = 5,75 kN/m²

Beban hidup (L) = 2,5 kN/m²

Beban mati Tambahan (D')

Penutup lantai = $0,03 \text{ kN/m}^2$

MEP = $0,2 \text{ kN/m}^2$

Langit-langit dan penggantung = $0,1 \text{ kN/m}^2$

$U = 1,2 D(\text{total}) + 1,6 L = 11,30 \text{ kN/m}^2$

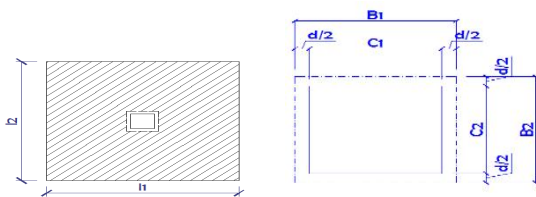
d arah y = $230 - 32 = 198 \text{ mm}$

d arah x = $230 - 40 = 190 \text{ mm}$

b) Pemeriksaan Phunching Shear

Pada pemodelan struktur dalam penelitian ini setiap tipe pemodelannya memiliki 16 kolom yang terbagi atas 3 jenis tipikal kolom yaitu kolom sudut, kolom eksterior dan kolom interior dimana tipikal kolom ini akan diperiksa apakah pelat memiliki kuat tahanan terhadap gaya geser seperti yang dijelaskan pada persamaan 7 sampai dengan 8 untuk dapat menahan gaya phunching shear.

Contoh : Perhitungan Kolom Interior B2, B3, C2, dan C3



Gambar 4 Tipikal kolom Interior

- Gaya geser nominal, dimana $l_1 = 4 \text{ m}$ dan $l_2 = 4 \text{ m}$

$$V_u = ((l_1 \times l_2) - (c_1 + d)(c_2 + d)) \times U$$

$$V_u = ((4 \times 4) - (0,5 + 0,190) \times (0,5 + 0,190)) \times 11,30 = 175,36 \text{ kN}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{175,36}{0,75} = 233,81 \text{ kN}$$

- Perimeter penampang kritis (b_o) dan luas penampang kritis (A_c)

$$b_o = 2(c_1 + d + c_2 + d)$$

$$A_c = b_o \cdot d = 2,76 \times 0,190 = 0,52 \text{ m}^2$$

- Gaya tahanan geser

$$V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot A_c = \frac{1}{3} \times \sqrt{21} \times 0,52$$

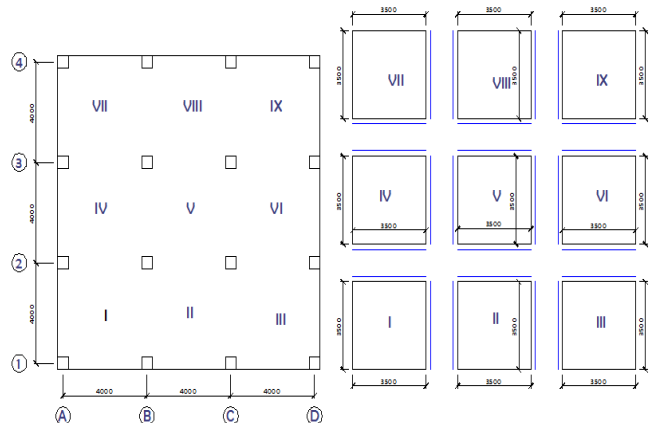
$$= 801,03 \text{ kN} \dots \dots V_c > V_n \text{ OK}$$

c) Perhitungan Momen Pelat

Perhitungan Momen Metode Westergaard

Pada pemodelan struktur, pelat memiliki 9 panel yang mempunyai tipe perletakan

yang berbeda seperti yang dijelaskan pada Gambar 5 berikut ini :



Gambar 5 Pembagian Tipe Perletakan Panel Tipe 1

Contoh : Perhitungan momen panel 1, panel 3, panel 7 dan panel 9

- Pebandingan l_y/l_x

$l_x = 3500 \text{ mm}$ (bentang pendek)

$l_y = 3500 \text{ mm}$ (bentang panjang)

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{3500}{3500} = 1$$

- Penentuan M_u arah bentang panjang (l_y) Lapangan

$$Mul_y (\text{Lapangan}) = +0,001(x)q_u(l_x)^2x = 48 \text{ (berdasarkan PBI 1971, tipe 8 } l_y/l_x = 1)$$

$$Mul_y = +0,001(x)q_u(l_x)^2$$

$$0,001 \times 48 \times 11,30 \times (3,5)^2 = 6,64 \text{ kN.m/m}$$

Tumpuan

$$Mut_y (\text{Lapangan}) = -0,001(x)q_u(l_x)^2$$

$$x = 48$$

$$Mut_y = -0,001(x)q_u(l_x)^2$$

$$-0,001 \times 48 \times 11,30 \times (3,5)^2 = -6,64 \text{ kN.m/m}$$

- Penentuan M_u arah bentang pendek (l_x) (Momen persatuan lebar)

Lapangan

$$x = 48$$

$$Mul_x = +0,001(x)q_u(l_x)^2$$

$$0,001 \times 48 \times 11,30 \times (3,5)^2 = 6,64 \text{ kN.m/m}$$

Tumpuan

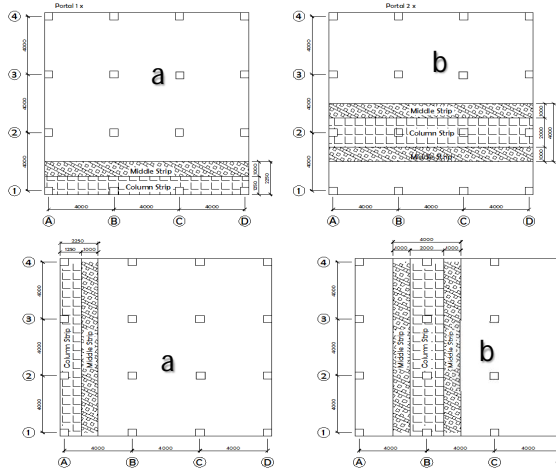
$$x = 48$$

$$Mut_x = -0,001(x)q_u(l_x)^2$$

$$-0,001 \times 48 \times 11,30 \times (3,5)^2 = -6,64 \text{ kN.m/m}$$

Perhitungan Momen Metode Desain Langsung

Berdasarkan pemodelan struktur yang dilakukan pada penelitian ini maka didapatkan 2 tipikal portal ekivalen, yaitu portal eksterior dan interior untuk arah x dan y yang ditunjukkan pada Gambar 6 yang akan digunakan untuk menentukan momen pada pelat.



Gambar 6 Pembagian Strip Kolom Dan Tengah Pada Pelat Tipe 1 arah x dan y a) Portal 1, b) Portal 2

Contoh : Perhitungan momen portal 1 arah x (portal eksterior)

- Distribusi M_o

Pada metode desain langsung sangatlah penting untuk mendistribusikan momen total pelat yang ditahan oleh portal ekivalen menjadi momen berfaktor positif dan negatif dengan menggunakan koefisien yang diberikan pada Tabel 1. Berikut ini adalah contoh perhitungan M_o metode desain langsung pada penelitian ini :

Tabel 5 Tabel Distribusi M_o Portal 1 Pada Pelat Tipe1 Arah x

Portal 1	A1			B1		C1		D1	
L1 (m)	4,00			4,00		4,00		4,00	
Ln (m)	3,50			3,50		3,50		3,50	
l ₂ (m)	2,25			2,25		2,25		2,25	
U (kN/m ²)	11,30			11,30		11,30		11,30	
Mo (kN-m)	38,92			38,92		38,92		38,92	
KM	0,26	0,52	0,70	0,65	0,35	0,65	0,70	0,52	0,26
MT (kN-m)	-10,12	20,24	-27,24	-25,30	13,62	-25,30	-27,24	20,24	-10,12
MK (kN-m)	10,12	3,86			3,86		10,12		

Setelah nilai M_o didapatkan maka nilai tersebut akan didistribusikan menjadi momen strip kolom dan strip tengah dengan menggunakan koefisien yang diberikan pada tabel 2, 3, dan 4.

Perhitungan Momen Metode Portal Ekivalen

Penentuan momen pelat yang terjadi pada pelat pada dasarnya hampir sama dengan metode desain langsung, karena pada metode ini juga menentukan momen pelat dengan membagi panel pelat menjadi portal ekivalen dan pembagian portal ekivalennya pun hampir sama dengan pada metode desain langsung seperti pada Gambar 6, hanya saja penentuan M_o pada metode ini yang menjadi titik pembeda antara keduanya dimana pada metode ini propertis kekakuan pelat sepanjang bentang harus diperhitungkan dalam penentuan momen statis total berfaktornya.

Contoh : Perhitungan momen portal 1 arah x (portal eksterior)

- Perhitungan dan penentuan nilai M , K , dan COF pada portal 1

$$L_1 (A-B) = 4000 \text{ mm}$$

$$L_2 (B-C) = 4000 \text{ mm}$$

$$L_3 (C-D) = 4000 \text{ mm}$$

$$L_{n1} = 3500 \text{ mm}$$

$$L_{n2} = 3500 \text{ mm}$$

$$L_{n3} = 3500 \text{ mm}$$

$$l_2 = 2250 \text{ mm}$$

$$c_1=c_2 = 500 \text{ mm}$$

$$U (\text{Beban berfaktor}) = 11,30 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Modulus Elastisitas Beton } (E_c) = 21538,1 \text{ MPa}$$

$$h = 230 \text{ mm}$$

$$\frac{c_1}{l_1} = \frac{500}{4000} = 0,125$$

$$\frac{c_2}{l_2} = \frac{500}{2250} = 0,222$$

Bila nilai c_1/l_1 dan c_2/l_2 dicocokkan berdasarkan Tabel A.14 pada buku

Reinforced Concrete Mechanics and Design
didapatlah nilai-nilai berikut :

$$M = 0,087$$

$$k = 4,501$$

$$COF = 0,532$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot l_2 \cdot h^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 2250 \cdot 230^3 = 2,281 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$K = \frac{k \cdot E_c \cdot I}{l_1}$$

$$\frac{4,501 \times E_c \times 2,281 \times 10^9}{4000}$$

$$= 2,57 \times 10^6 \text{ N.mm/rad}$$

$$FEM = M \cdot U \cdot l_2 \cdot l_1^2 = 0,087 \times 11,30 \times 2,25 \times 4^2$$

$$= 35,356 \text{ kN.m}$$

- Penentuan Nilai Kekakuan Ekvivalen (K_{ec}) dan *Carry Over Factor* (COF) Pada Kolom

$$c_1 = c_2 = 500 \text{ mm}$$

$$l_c \text{ (kolom atas dan bawah)} = 3600 \text{ mm}$$

$$l_u \text{ (kolom atas dan bawah)} = 3460 \text{ mm}$$

$$t_a/t_b = 1$$

$$l_c/l_u = 1,068$$

$$x = 230 \text{ mm}$$

$$y = 500 \text{ mm}$$

$$l_2 = 2250 \text{ mm}$$

$$\text{nilai } k = 4,73 \text{ dan } COF = 0,55$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot c_1 \cdot c_2^3 = \frac{1}{12} \cdot 500 \cdot 500^3$$

$$= 5,208 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Nilai kekakuan kolom (K_c)

Nilai kekakuan kolom (K_c) merupakan nilai penjumlahan kekakuan kolom atas dan kolom bawah.

$$K_c = \sum \frac{k \cdot E_c \cdot I}{l_c} = 2 \cdot \left(\frac{4,73 \times E_c \times 5,208 \times 10^9}{3600} \right)$$

$$= 1,37 \times 10^7 \times E_c \text{ N.mm/rad}$$

Kekakuan Batang Puntir

$$C = \sum \left[1 - 0,63 \frac{x}{y} \right] \cdot \frac{x^3 \cdot y}{3} = \left[1 - 0,63 \frac{230}{500} \right] \times$$

$$\frac{230^3 \times 500}{3} = 1,44 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\sum K = \sum \frac{9 \cdot E_c \cdot C}{l_2 \cdot \left(1 - \frac{c_1}{l_2} \right)^3} = \frac{9 \times E_c \times 1,44 \times 10^9}{2250 \times \left(1 - \frac{500}{2250} \right)^3}$$

$$\sum K_t = 1,22 \times 10^7 \times E_c \text{ N.mm/rad}$$

Kekakuan Kolom Ekvivalen

$$K_{ec} = \left[\frac{1}{\frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_t}} \right]$$

$$= \left[\frac{1}{\frac{1}{1,37 \times 10^7 \times E_c} + \frac{1}{1,22 \times 10^7 \times E_c}} \right]$$

$$K_{ec} = 6,46 \times 10^6 \times E_c \text{ N.mm/rad}$$

- Penentuan Faktor Distribusi (FD)

Diketahui :

$$K_{\text{pelat eks}} = 2,57 \times 10^6 \times E_c \text{ N.mm/rad}$$

$$K_{ec} = 6,46 \times 10^6 \cdot E_c \text{ N.mm/rad}$$

$$\sum K = K_{\text{pelat eks}} + K_{ec}$$

$$= (2,57 \times 10^6 + 6,46 \times 10^6) \times E_c$$

$$= 9,03 \times 10^6 \times E_c \text{ N.mm/rad}$$

$$Fd_{\text{pelat eks}} = \frac{K_{\text{pelat eks}}}{\sum K} = \frac{2,57 \times 10^6 \times E_c}{9,03 \times 10^6 \times E_c} = 0,28$$

$$Fd_{\text{kolom atas}} = 0,5 \left(\frac{K_{ec}}{\sum K} \right)$$

$$= 0,5 \times \left(\frac{6,46 \times 10^6 \times E_c}{9,03 \times 10^6 \times E_c} \right) = 0,36$$

$$Fd_{\text{kolom bawah}} = 1 - Fd_{\text{pelat eks}} - Fd_{\text{kolom atas}}$$

$$= 1 - 0,28 - 0,36 = 0,36$$

Portal 1

$$Fd_{\text{pelat eks}} = 0,28$$

$$Fd_{\text{pelat int}} = 0,22$$

$$Fd_{\text{kolom atas dan bawah eks}} = 0,36$$

$$Fd_{\text{kolom atas dan bawah int}} = 0,28$$

$$Fem \text{ negatif} = -35,36 \text{ kN.m}$$

$$Fem \text{ positif} = 35,36 \text{ kN.m}$$

$$COF = 0,533$$

Untuk selanjutnya momen pelat dihitung dengan metode *Hardy Cross*

- Analisis Momen Muka Kolom dan Bentang Tengah

Bentang Tengah A1-B1 = C1-D1

$$Q_u = U \times l_2 = 11,30 \times 2,25 = 25,42 \text{ kN/m}$$

R_{A1} (Reaksi perletakan A1)

$$R_{A1} = \frac{-39,45 + 25,82 + (25,416 \times 4) \times 2}{4}$$

$$= 47,43 \text{ kN}$$

$$x = \frac{47,43}{25,42} = 1,87 \text{ m}$$

$$Mo' = 47,43 \cdot 1,87 - 0,5 \cdot 25,42 \cdot (1,87)^2 - 25,82$$

$$= 18,42 \text{ kN.m}$$

Muka kolom A1-B1 = C1-D1

$$Mo'_{A1} = 47,43.0,25 - 0,5.25,42.(0,25)^2 - 25,82 \\ = -14,76 \text{ kN.m}$$

$$Mo'_{B1} = 47,43.3,75 - 0,5.25,42.(3,75)^2 - 25,82 \\ = -26,68 \text{ kN.m}$$

Setelah nilai Mo didapatkan maka nilai tersebut akan didistribusikan menjadi momen strip kolom dan strip tengah dengan menggunakan koefisien yang diberikan pada tabel 2, 3, dan 4.

d) Perhitungan Tulangan

Pada penelitian ini perhitungan tulangan memiliki cara yang sama untuk masing-masing metodenya.

Contoh : Perhitungan Tulangan

$$Mu_x = -6,64 \text{ kN.m/m}$$

$$\rho_{min} = 0,00180$$

$$As_{min} = \rho_{min} \cdot b \cdot h = 0,00180 \times 1000 \times 230 \\ = 414,00 \text{ mm}^2$$

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ = 0,85 \times 0,85 \times \frac{21}{240} \times \frac{600}{600 + 240} = 0,0452$$

$$Rn_{max} = 0,75 \times \rho_b \cdot f_y \times \left[1 - 0,5 \times 0,75 \times \rho_b \times \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \right] \\ = 0,75 \cdot 0,0452 \cdot 240 \cdot \left[1 - 0,5 \times 0,75 \cdot 0,0452 \cdot \frac{240}{0,85 \cdot 21} \right] \\ = 6,28$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{6,64}{0,9} = 7,38 \text{ kN.m}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{7,38 \cdot 10^6}{1000 \times 198} = 0,19 \dots Rn_{max} > Rn$$

$$\rho = 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{Rn}{0,85 \times f'_c}} \right]$$

$$= 0,85 \times \frac{21}{240} \times \left[1 - \sqrt{1 - 2 \times \frac{0,19}{0,85 \times 21}} \right]$$

$$= 0,00079$$

$\rho \leq \rho_n \dots \dots \dots$ tidak oK gunakan As min

$$As_{perlu} = As_{min}$$

Dicoba tulangan diameter 8 mm

$$s = \frac{\left[\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot b \right]}{As_{perlu}} = \frac{\frac{\pi}{4} \times 8^2 \times 1000}{414,00} = 121,35 \text{ mm}$$

Maka digunakan $\phi 8 - 120$.

e) Perhitungan Defleksi

Pada perhitungan defleksi, metode Westergaard memiliki perbedaan terhadap metode desain langsung dan portal ekuivalen. Pada metode Westergaard peneliti menggunakan analisa pada gambar 2, sedangkan pada metode Desain Langsung dan Portal Ekuivalen peneliti menggunakan persamaan 10 sampai dengan persamaan 15.

Contoh :

Diket :

$$h = 230 \text{ mm}$$

$$\ln x = 3,5 \text{ m}$$

$$\ln y = 3,5 \text{ m}$$

$$E_c = 21538,11 \text{ MPa}$$

$$Mu_x \text{ lapangan} = 23,25 \text{ kN.m}$$

$$Mu_x \text{ tumpuan} = -23,25 \text{ kN.m}$$

$$Mu_y \text{ lapangan} = 23,25 \text{ kN.m}$$

$$Mu_y \text{ tumpuan} = -23,25 \text{ kN.m}$$

$$I_x = \frac{1}{12} \times h^3 \times \ln x = \frac{1}{12} \times 0,23^3 \times 3,5 \\ = 3,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times h^3 \times \ln y = \frac{1}{12} \times 0,23^3 \times 3,5 \\ = 3,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\Delta_x = \frac{1}{4} \times \frac{Mu_x \text{ tumpuan} \cdot \ln x^2}{Ec \cdot I_x} \\ = \left[\frac{23,25 \times 3,5^2}{4 \times 21538,11 \times 10^3 \times 3,55 \cdot 10^{-3}} \right] \times 10^3 \\ = 0,93 \text{ mm}$$

$$\Delta_y = \frac{1}{4} \times \frac{Mu_y \text{ tumpuan} \cdot \ln y^2}{Ec \cdot I_y} \\ = \left[\frac{23,25 \times 3,5^2}{4 \times 21538,11 \times 10^3 \times 3,55 \cdot 10^{-3}} \right] \times 10^3 \\ = 0,93 \text{ mm}$$

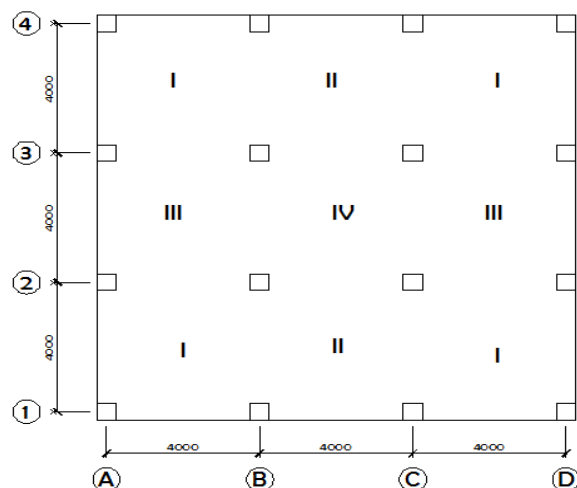
$$\Delta = \frac{\Delta_x + \Delta_y}{2} = \frac{0,93 + 0,93}{2} = 0,93$$

$$\Delta_{izin} = \frac{2 \cdot \ln}{480} = \frac{3500}{480} = 7,29 \text{ mm}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini merupakan hasil dan pembahasan penelitian yang terbagi kedalam hasil dan pembahasan momen, tulangan, defleksi serta hasil pemeriksaan *phunching shear*.

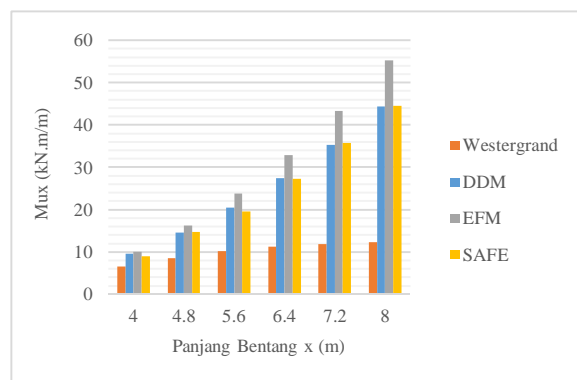
Pada analisa hasil perbandingan momen peneliti mengelompokkan panel pelat menjadi 4 tipikal yang memiliki kesamaan seperti pada gambar 7 berikut ini :



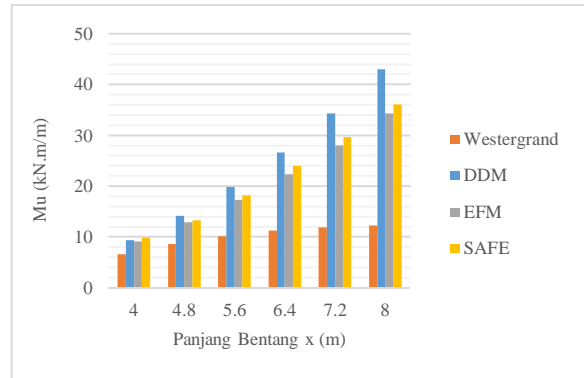
Gambar 7 Pembagian Panel Tipikal

a) Perbandingan Momen Tipikal Arah x

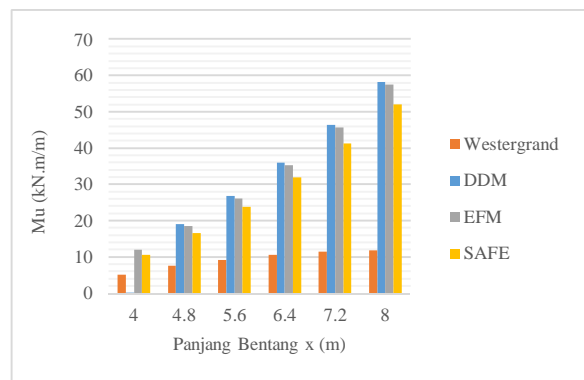
Berikut ini adalah grafik hubungan antara momen arah x metode *Westergrand*, metode Desain Langsung, metode Portal Ekuivalen, dan SAFE yang terpapar pada Gambar 8 dan 15 :



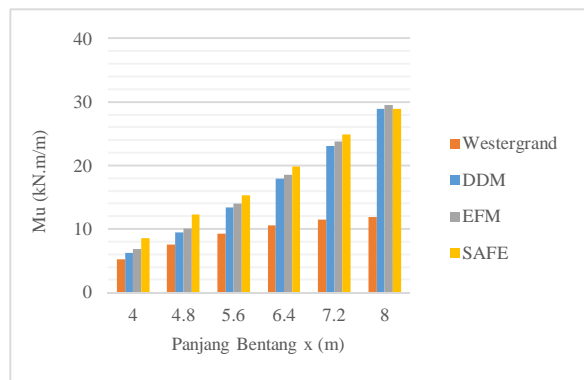
Gambar 8 Perbandingan M_{ux} Negatif Tipikal 1



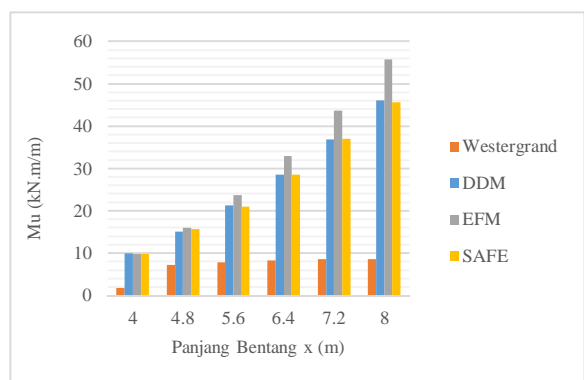
Gambar 9 Perbandingan M_{ux} Positif Tipikal 1



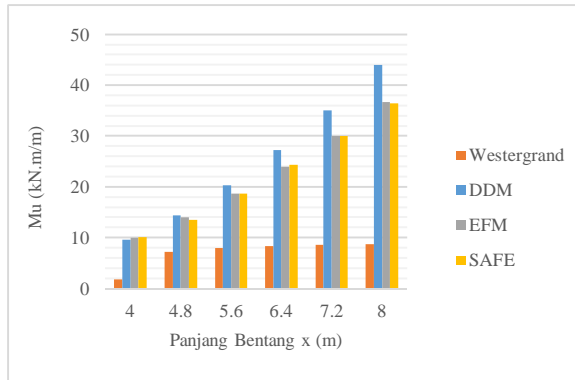
Gambar 10 Perbandingan M_{ux} Negatif Tipikal 2



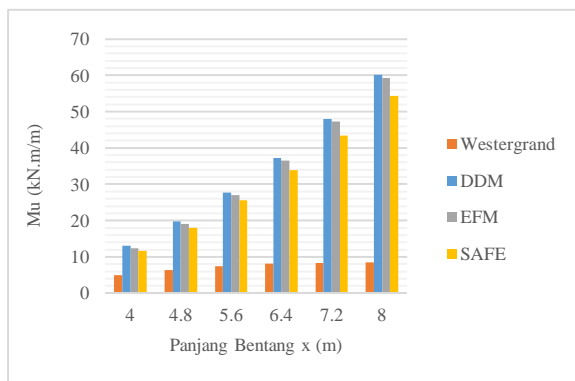
Gambar 11 Perbandingan M_{ux} Positif Tipikal 2



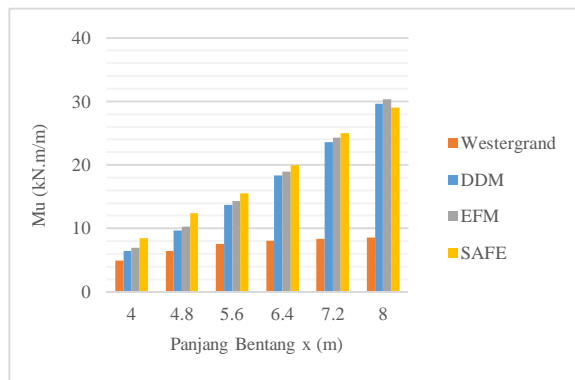
Gambar 12 Perbandingan M_{ux} Negatif Tipikal 3



Gambar 13 Perbandingan Mu_x Positif Tipikal 3



Gambar 14 Perbandingan Mu_x Negatif Tipikal 4



Gambar 15 Perbandingan Mu_x Positif Tipikal 4

Berdasarkan Gambar 8 sampai dengan 15 maka dapat dilihat bahwa momen arah x untuk masing-masing metode terus mengalami kenaikan seiring bertambahnya bentang arah x yang menandakan bahwa proporsi beban akan semakin besar apabila panjang bentang ditingkatkan.

Metode *Westergrand* memberikan nilai momen terkecil untuk masing-masing tipikal bila dirujuk berdasarkan metode lainnya hal ini terpapar pada Gambar 8 sampai dengan 15 yang dikarenakan metode *Westergrand*

tidak mempertimbangkan pengaruh hubungan pelat dengan pelat lainnya dan pelat dengan kolom dan ini akan sangat berbeda dengan metode Portal Ekuivalen, Desain Langsung dan SAFE yang telah memperhitungkan pengaruh tersebut.

Gambar 8 dan 12 menunjukkan Metode Portal Ekuivalen akan memberikan nilai momen negatif yang lebih besar dari pada metode *Westergrand*, Desain Langsung, dan hasil program SAFE pada tipikal 1 dan 3 yang merupakan tipikal eksterior bila dilihat dari arah x. Besarnya nilai momen negatif arah x pada tipikal ini dikarenakan metode Portal Ekuivalen memperhitungkan kekakuan sepanjang Portal Ekuivalen yang menyebabkan terjadinya peningkatan nilai momen negatif pada tipikal 1 dan tipikal 3. Penelitian (W.G. Corley dkk, 1961) menunjukkan momen negatif akan mengalami peningkatan dan momen positif akan menurun apabila kekakuan kolom meningkat pada pelat yang dianalisa menggunakan metode Portal Ekuivalen.

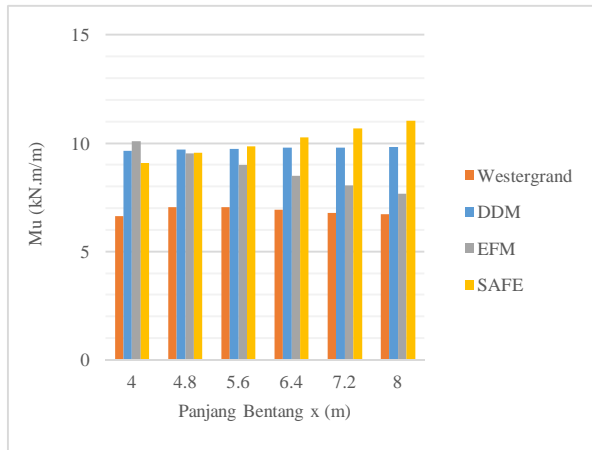
Gambar 9, dan 13 memaparkan bahwa metode Desain Langsung akan memberikan nilai momen positif yang lebih besar dari pada metode *Westergrand*, Portal Ekuivalen, dan SAFE pada tipikal 1 dan 3 yang dikarenakan metode Desain Langsung memproporsikan 52% dari M_0 pada momen positifnya untuk tipikal eksterior.

Gambar 10 dan 14 menjelaskan bahwa momen negatif terbesar pada tipikal 2 dan 4 yang merupakan tipikal interior diberikan oleh metode Desain Langsung karena metode ini memproporsikan 65% M_0 pada kedua tumpuan pada tipikal interiornya sehingga menurunkan proporsi momen positif pada tipikal ini.

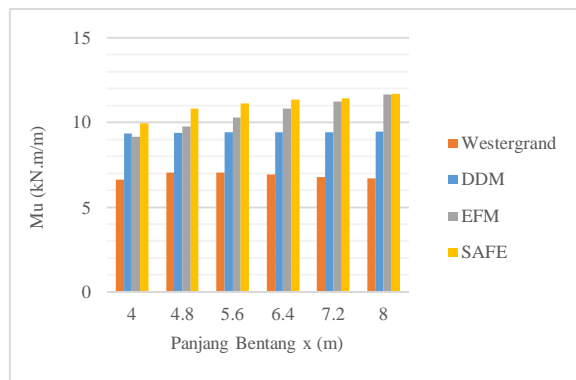
Gambar 11 dan 15 menunjukkan nilai momen positif yang diberikan oleh program SAFE pada tipikal 2 dan 4 akan jauh lebih besar dari pada metode pendekatan pada penelitian ini, dikarenakan nilai momen negatif yang diberikan oleh metode Desain Langsung, Portal Ekuivalen dan *Westergrand* memberikan proporsi beban yang cukup kecil pada tipikal interior.

b) Perbandingan Momen Tipikal Arah y

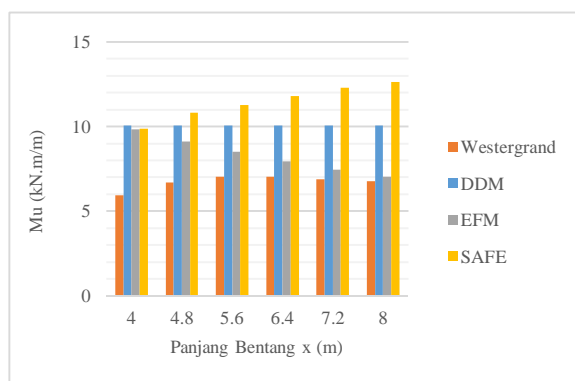
Berikut ini adalah grafik hubungan antara momen arah y metode *Westergrand*, metode Desain Langsung, metode Portal Ekvivalen, dan SAFE yang terpapar pada Gambar 16 dan 23 :



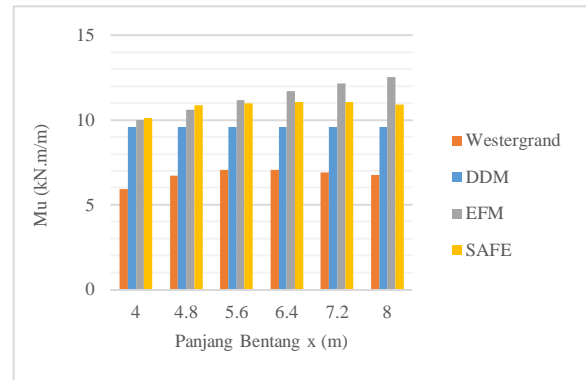
Gambar 16 Perbandingan Mu_y Negatif Tipikal 1



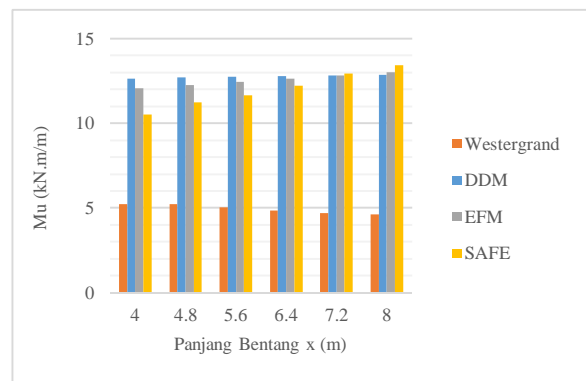
Gambar 17 Perbandingan Mu_y Positif Tipikal 1



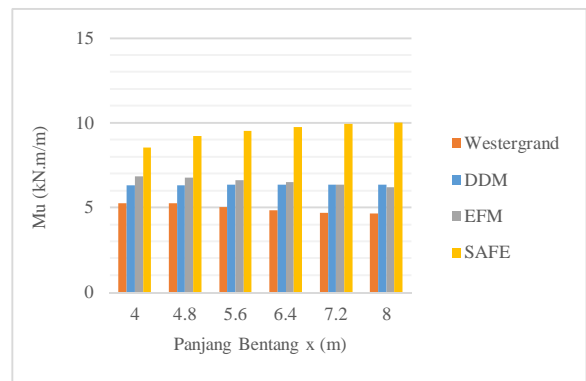
Gambar 18 Perbandingan Mu_y Negatif Tipikal 2



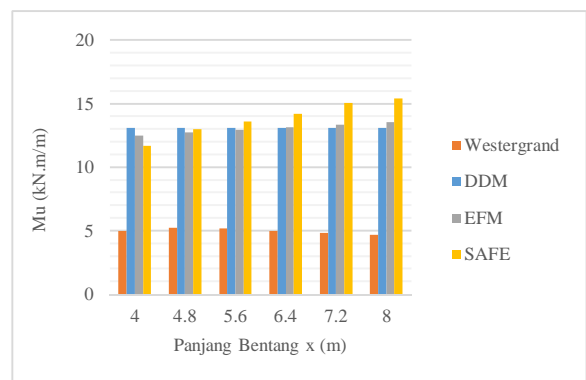
Gambar 19 Perbandingan Mu_y Positif Tipikal 2



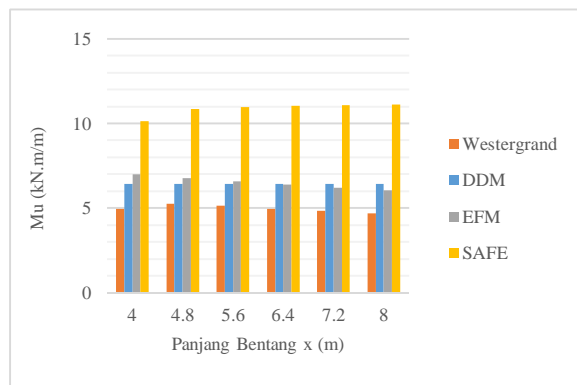
Gambar 20 Perbandingan Mu_y Negatif Tipikal 3



Gambar 21 Perbandingan Mu_y Positif Tipikal 3



Gambar 22 Perbandingan Mu_y Negatif Tipikal 4



Gambar 23 Perbandingan Mu_y Positif Tipikal 4

Gambar 16 sampai dengan 23 memaparkan beban yang diproporsikan pada bentang pendek (arah y) akan semakin menurun seiring bertambahnya bentang arah x yang menandakan bahwa proporsi beban akan lebih besar diterima oleh arah bentang panjang sehingga pelat mulai berangsur-angsur mendekati aksi pelat satu arah, hal ini terlihat pada gambar yang menunjukkan tidak adanya kenaikan yang besar pada nilai momen arah y ini bila dilihat pada hasil momen arah x.

Pada Gambar 16 dan 23 juga menunjukkan bahwa momen arah y untuk metode *Westergrand*, Desain Langsung dan Portal Ekuivalen akan memiliki nilai yang cukup kecil bila dibandingkan dengan hasil analisa SAFE yang dikarenakan ketiga metode lainnya memproporsikan sangat sedikit beban pada bentang pendeknya apabila rasio bentang ditingkatkan dibandingkan, selain itu program SAFE dapat menggambarkan perilaku pelat dengan lebih akurat dibandingkan dengan metode pendekatan lainnya pada penelitian ini.

Pada Gambar 19 menunjukkan nilai momen positif pada metode Portal Ekuivalen memiliki nilai momen yang cukup besar bila dibandingkan dengan metode *Westergrand*, Desain Langsung dan program SAFE yang dikarenakan terjadinya penurunan nilai momen negatif yang diakibatkan oleh berkurangnya kekakuan. Jika kekakuan kolom ekstetior sangat kecil, momen ujung negatif akan mendekati nol, jika kekakuan kolomn eksterior sangat besar, momen positif dan negatif masih tidak akan sama seperti halnya dalam panel interior kecuali jika

disediakan balok sisi dengan kekuatan torsi yang sangat besar, yang dapat mencegah rotasi dari pelat dengan sisi tak menerus (Mc Cormac, 2004).

c) Perbandingan Luas Tulangan Pada Panel Tipikal

Berdasarkan Gambar 5 sampai dengan 23 menunjukkan bahwa momen yang dihasilkan akan cukup kecil sehingga menandakan metode ini memproporsikan sedikit tulangan pada daerah tumpuan dan lapangan pada setia tipikal untuk arah bentang panjang (arah x) maupun arah bentang pendek (arah y).

Berdasarkan Gambar 8 dan 12 menandakan bahwasahnya metode Portal Ekuivalen memberikan nilai tulangan tumpuan yang cukup besar bila pertambahan bentang arah x ditingkatkan pada tipikal 1 dan 3 dikarenakan nilai momen yang cukup besar pada daerah tumpuan ketika bentang panjang ditingkatkan bila dibandingkan dengan kedua metode pendekatan lainnya serta hasil program SAFE.

Gambar 9 dan 13 menunjukkan bahwa metode Desain Langsung memberikan nilai momen yang besar pada daerah momen positif pada tipikal 1 dan 3 ketika petambahan bentang arah x ditingkatkan sehingga kebutuhan tulangan pada daerah lapangan pada tipikal ini akan besar pula.

Gambar 10 dan 14 menunjukkan bahwa metode Desain Langsung akan mendesain kebutuhan tulangan yang cukup besar pada daerah tumpuan pada tipikal 2 dan 4 ketika bentang arah x ditingkatkan yang dikarenakan momen tumpuan yang dihasilkan akan cukup besar dari pada metode pendekatan lainnya pada penelitian ini dan hasil analisa program SAFE.

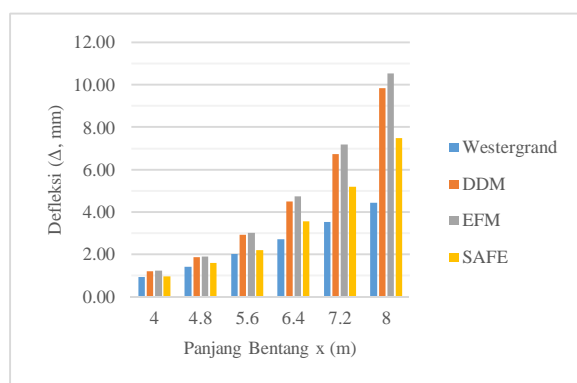
Pada Gambar 11 dan 15 menunjukkan nilai momen positif pada program SAFE yang cukup besar seiring pertambahan bentang arah x sehingga kebutuhan tulangan lapangan pada tipikal 2 dan 4 yang diberikan oleh program SAFE akan cukup besar pula yang dikarenakan metode Portal Ekuivalen dan Desain Langsung hanya memproporsikan sedikit nilai M_o pada zona

ini untuk tipikal 2 dan 4 karena nilai momen negatif yang terlalu besar dan metode *Westergrand* memberikan nilai koefisien momen yang kecil pada daerah lapangan pada tipikal ini.

Gambar 16 sampai dengan 23 menunjukkan bahwa momen arah y yang diberikan oleh metode *Westergrand*, desain langsung, Portal Ekuivalen dan SAFE hanya akan memproporsikan beban yang sedikit pada bentang pendek (arah y) yang dikarenakan beban akan diproporsikan lebih besar pada bentang panjang (arah x) sehingga kebutuhan tulangan pun akan jauh lebih kecil dari pada bentang pendek dari pada bentang panjangnya dan program SAFE memberikan kebutuhan tulangan yang besar dari pada metode lainnya pada penelitian ini untuk lapangan maupun tulangan yang dikarenakan momen yang dihasilkan lebih besar.

d) Perbandingan Defleksi Maksimum

Berikut ini adalah grafik hubungan antara defleksi maksimum metode *Westergrand*, metode Desain Langsung, metode Portal Ekuivalen, dan SAFE yang terpapar pada Gambar 24 :



Gambar 24 Perbandingan Defleksi Maksimum Pada Panel Setiap Kenaikan Bentang x Pada Setiap Metode Perhitungan

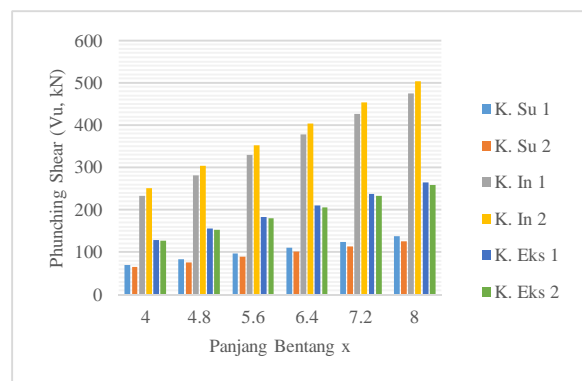
Berdasarkan hasil analisa yang tersaji pada Gambar 24 diatas maka dapat dilihat bahwa hasil analisa defleksi terbesar terjadi pada metode Portal Ekuivalen dan hasil analisa dari metode *Westergrand* akan lebih kecil dari metode perhitungan yang lainnya. Besarnya nilai defleksi yang dihasilkan oleh

metode Portal Ekuivalen ini dikarenakan besarnya nilai momen negatif yang terjadi pada panel sehingga defleksi tambahan yang dihasilkan oleh rotasi pada tumpuannya cukup besar dan nilai ini akan menambah defleksi yang terjadi pada panel. Pada metode *Westergrand* dapat dilihat defleksi yang terjadi kecil, karena gaya-gaya dalam yang dihasilkan cukup kecil pula.

Pada analisis defleksi yang terjadi pada panel untuk semua metode perhitungan dapat ditarik kesimpulan bahwa panel eksterior akan mengalami defleksi yang jauh lebih besar dari pada panel interior karena beban diproporsi cukup besar pada panel eksterior ini, tetapi walaupun nilai defleksi cukup besar nilai ini tidaklah jauh lebih besar dari pada defleksi izin (1/480) yang terjadi.

e) Perbandingan Analisa Phunching Shear (V_u) Metode Konvensional Dengan Hasil Analisis Program SAFE

Gambar 25 menyajikan hasil analisa *Phunching Shear* untuk metode konvensional dan hasil analisa SAFE yang terbagi atas kolom sudut, interior dan eksterior.



Gambar 25 Perbandingan Analisa *Phunching Shear* (V_u , kN) Metode Konvensional dengan Program SAFE Untuk Setiap Panjang Bentang x

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa metode konvensional memberikan nilai *Phunching Shear* (V_u) yang lebih besar dari pada hasil analisa SAFE pada kolom sudut dan kolom eksterior, dan pada kolom interior metode konvensional memberikan nilai V_u yang lebih kecil dari pada hasil analisa program SAFE. Berdasarkan tabel

dan gambar diatas dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai V_u apabila nilai bentang panjang ditingkatkan, tercatat terjadi kenaikan rata-rata sebesar 15,04% untuk metode konvensional dan 14,79% pada Program SAFE, berdasarkan analisa diatas dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa apabila bentang panel ditingkatkan maka akan terjadi pula peningkatan terhadap resiko *Phunching Shear* sehingga dibutuhkanlah kekuatan yang cukup dari beton untuk dapat menahan besaran nilai V_u tersebut agar tidak terjadi kegagalan geser pada pelat, terutama disekitar penampang kritis kolom dan apabila kekuatan pelat tidaklah cukup maka dapat dilakukan penambahan tulangan geser (*Shear Head*) pada daerah penampang kritis.

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa pada daerah kolom interior nilai V_u jauh lebih besar dari pada kolom sudut dan kolom eksterior, hal ini dikarenakan bidang gesernya jauh lebih luas sehingga besaran V_u pun akan jauh lebih besar dari pada kolom eksterior dan kolom sudut yang memiliki bidang geser yang jauh lebih kecil.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah :

1. Untuk dapat melihat keoptimalan metode *Westergrand*, Desain Langsung dan Portal Ekuivalen dapat dilihat dari parameter berikut ini :
 - Apabila dilihat dari segi kemudahan perhitungan maka metode *Westergrand* memberikan metode perhitungan yang jauh lebih mudah karena metode ini hanya menggunakan koefisien momen yang dicocokkan berdasarkan rasio l_y/l_x dan jenis dari perletakan pelatnya.
 - Bila dilihat dari segi momen dan tulangan :
 - Momen yang dihasilkan oleh metode *Westergrand* akan lebih kecil sehingga kebutuhan tulangan pun akan sangat kecil dari pada Metode Desain

Langsung, Portal Ekuivalen dan SAFE.

- Pada panel sudut (1, 3, 7, dan 9) dan panel eksterior (2,4,6, dan 8) metode Portal Ekuivalen memberikan nilai momen dan tulangan negatif arah x yang jauh lebih besar dari pada Metode *Westergrand*, Desain Langsung dan SAFE, hal ini disebabkan karena adanya pengaruh dari kekakuan kolom yang mana semakin tinggi nilai kekakuan maka momen negatif yang dihasilkan akan semakin besar dan semakin kecil nilai kekakuan maka nilai momen negatif pun akan semakin kecil.
- Momen positif serta tulangan lapangan untuk arah x pada panel sudut yang dihasilkan oleh metode Desain langsung akan memberikan nilai yang jauh lebih besar dari pada Metode *Westergrand*, Portal Ekuivalen dan SAFE yang dikarenakan metode ini memproporsikan 52% dari momen total panelnya untuk dapat ditahan oleh bagian lapangan pelat.
- Pada panel eksterior dan panel interior (5) momen negatif dan tulangan tumpuan yang dihasilkan oleh metode Desain Langsung akan menghasilkan nilai yang cukup besar pada zona ini bila dibandingkan terhadap metode *Westergrand*, Portal Ekuivalen, dan SAFE, hal ini dikarenakan metode ini memproporsikan 65% momen total panel untuk dapat ditahan oleh daerah tumpuannya.
- SAFE akan memproporsikan nilai momen positif dan tulangan lapangan arah x yang cukup besar pada panel eksterior dan interior bila dirujuk terhadap metode

Westergrand, Desain Langsung dan Metode Portal Ekuivalen, yang dikarenakan metode lainnya hanya memproporsikan nilai yang cukup kecil pada area tersebut.

- Momen negatif dan tulangan tumpuan arah y yang dihasilkan oleh SAFE memberikan nilai yang lebih besar dari pada ketiga metode lain yang digunakan pada penelitian ini, hal ini dikarenakan ketiga metode lainnya memproporsikan sangat sedikit beban pada bentang pendeknya apabila rasio bentang ditingkatkan, selain itu SAFE dapat menggambarkan perilaku pelat dengan lebih akurat dibandingkan dengan metode pendekatan lainnya pada penelitian ini.
 - Pada momen positif dan tulangan lapangan arah y pada dasarnya nilai yang dihasilkan oleh SAFE akan jauh lebih besar hanya saja berbeda pada tipikal 2 dimana nilai momen akan lebih besar pada Portal Ekuivalen yang dikarenakan nilai momen negatif yang sangat kecil sehingga meningkatkan nilai momen positifnya.
 - Defleksi yang dihasilkan oleh metode Portal Ekuivalen akan jauh lebih besar yang dikarenakan momen negatif yang dihasilkan jauh lebih besar sehingga nilai defleksi tambahan akan meningkat dan menambah nilai defleksi total. Sedangkan defleksi metode *Westergrand* akan jauh lebih kecil karena momen yang dihasilkan juga kecil dari pada metode lainnya.
2. Ketika perbandingan antara bentang panjang terhadap bentang pendek ditingkatkan, analisis menggunakan metode *Westergrand*, Desain Langsung,

Metode Portal Ekuivalen, dan SAFE pada *Flat Plate* menjelaskan bahwa beban yang diberikan pada pelat akan diproporsikan lebih besar pada bentang panjang dan hanya sedikit yang diproporsikan pada bentang pendeknya. Fenomena ini mengindikasikan pelat akan mendekati aksi pelat satu arah seiring rasio bentang panjang terhadap bentang pendeknya ditingkatkan.

3. Momen, tulangan dan defleksi yang terjadi pada panel-panel sudut (1, 3, 7 dan 9) akan jauh lebih besar dari pada panel eksterior (2, 4, 6 dan 8) dan panel interior (5) yang dikarenakan panel sudut menerima proporsi beban yang besar sehingga beban yang disalurkan pada panel lainnya telah tereduksi dan tidak sebesar yang diterima oleh panel sudut.

5. DAFTAR PUSTAKA

- SNI 2847-2013**, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia**. 1971. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.
- Wright, K. J. and MacGregor, G. J.** 2012. *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. New Jersey, United States: Pearson Education, Inc., Upper Saddle River.
- Mc Cormac, J.** 2004. *Desain Beton Bertulang Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, E.G.** 1985. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Refika Aditama.
- Nasution, A.** 2009. Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB.
- Corley, W. G, Sozen, M. A, and Siess, C.P.** 1961. *The Equivalent Frame Analysis For Reinforced Concrete Slab*. Illinois, United States: University Of Illinois Urbana.
- Part, R. and Gamble, W. L.** 2000. *Reinforced Concrete Slabs Second Edition*. New York, United States: John Wiley and Sons. Inc.